

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 6 F 17/50			G 0 6 F 15/60	6 1 2 A
17/00			15/20	D

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平8-116602

(22) 出願日 平成8年(1996)5月10日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 石井 良和

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株

式会社日立製作所電力・電機開発本部内

(72) 発明者 東原 敏昭

茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株

式会社日立製作所大みか工場内

(72) 発明者 坪谷 敏行

茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株

式会社日立製作所大みか工場内

(74) 代理人 弁理士 富田 和子

最終頁に続く

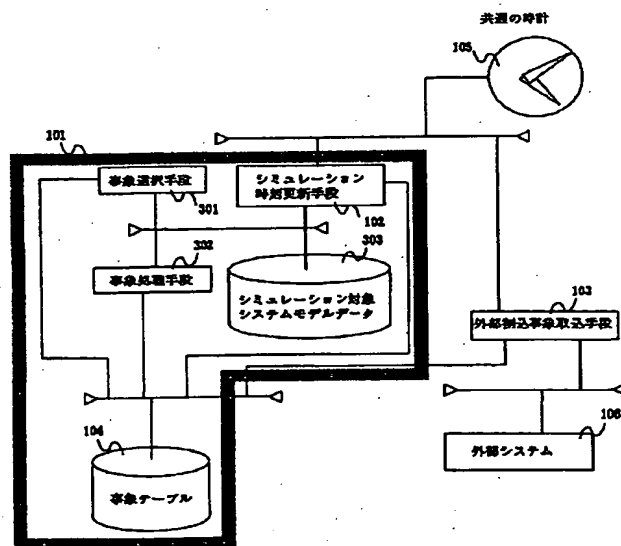
(54) 【発明の名称】 シミュレーション方法および装置

(57) 【要約】

【課題】 離散事象シミュレータにおいて、外部システムとのインタラクションを可能とすることによって、微分方程式で記述できないシステムのシステムシミュレーションテストなどを可能とする。

【解決手段】 シミュレーション実行手段101、外部割込事象取込手段103、及び共通の時計105からなり、シミュレーション実行手段101は、通常の離散事象シミュレータとほぼ同様に作用するが、シミュレーション時刻の更新は事象テーブル104に登録された事象の生起時刻と共通の時計105の示す時刻とが比例するようにシミュレーションの実行を制御し、外部割込事象取込手段103は、外部システム106からのデータに、共通の時計105に基づいてシミュレーション時刻を割り付ける。

図1



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】モデル化された事象についてシミュレーションを実施するシミュレーション実行手段を備えるシミュレーション装置において、

外部から入力される、シミュレーション動作に関する制御データを受け付けるデータ受付手段と、

外部世界での時刻と前記シミュレーション実行手段でのシミュレーション時刻とを対応づける時刻対応手段と、前記受け付けた制御データ、及び、前記時刻対応手段により当該制御データを受け付けた時点における外部世界の時刻と対応づけられたシミュレーション時刻に応じて、前記シミュレーション実行手段が行うシミュレーション動作を変化させるシミュレーション制御手段とを有し、

前記シミュレーション実行手段は、前記モデル化された事象の生起する時刻を生成する手段を少なくとも備えることを特徴とするシミュレーション装置。

【請求項2】離散的な事象についてシミュレーションを実施するシミュレーション実行手段を備えるシミュレーション装置において、

時計手段と、

外部から入力される、シミュレーション動作に関する制御データを受け付けると共に、当該制御データを受け付けた時点での前記時計手段の示す時刻を、当該制御データの発生時刻として割り付ける、外部データ取込手段とを有し、

前記シミュレーション実行手段は、前記時計手段の時刻を参照し、当該シミュレーション実行手段でのシミュレーション時刻の進みが前記時計手段の時刻の進みと近似的に比例するように、シミュレーション時刻の更新動作を制御する時刻更新手段を備え、前記受け付けた制御データ及びそれに割り付けられた時刻に応じて、そのシミュレーション動作を変化させることを特徴とするシミュレーション装置。

【請求項3】シミュレーションの対象となるシステムをモデル化したモデル手段と、事象を特徴づける事象データを格納する記憶手段と、前記格納されている事象データのうち次に行うべき事象を選択する選択手段と、前記モデルに基づき前記選択された事象に対応する処理を実行する処理手段と、シミュレーション時刻の更新動作を行うと共に、更新された時間範囲に含まれる事象を前記選択手段による選択が可能な状態とする時刻更新手段とを備える離散事象シミュレーション装置において、外部からのデータを受け付けると共に、当該データを受け付けたタイミングに対応するシミュレーション時刻を当該受け付けたデータの発生時刻として割り付ける、データ取込手段と、前記発生時刻が割り付けられたデータを事象データとして、前記記憶手段へ格納する事象格納手段とを有し、前記選択手段は、その時点で前記記憶手段に格納されて

2

いる、外部からの事象及び予め登録されていた事象のうち、その発生時刻が早い順に選択することを特徴とする離散事象シミュレーション装置。

【請求項4】請求項3に記載の離散事象シミュレーション装置において、

前記外部からのデータは、当該データの事象が対応している前記モデルの一部に関する情報を少なくとも含むものである、

前記処理手段は、前記受け付けたデータが含まれている前記モデルの一部に関する情報に基づき、当該データの事象を処理することを特徴とする離散事象シミュレーション装置。

【請求項5】請求項3に記載の離散事象シミュレーション装置において、

時計手段をさらに有し、

前記データ取込手段は、前記データを受け付けた時点に前記時計手段の示している時刻を、当該データの発生時刻として割り付けるものであり、

前記時刻更新手段は、前記時計手段の時刻を参照し、シミュレーション時刻の進みが前記時計手段の時刻の進みと比例するように、シミュレーション時刻の更新動作を制御することを特徴とする離散事象シミュレーション装置。

【請求項6】請求項5に記載の離散事象シミュレーション装置において、

前記時刻更新手段は、シミュレーション時刻の更新の際に、前記時計手段を参照してシミュレーション開始からの経過時間を計算し、

この時点において次に選択される事象の発生時刻が前記経過時間より大きいかを調べ、前記発生時刻が前記経過時間より小さい場合には、当該経過時間が当該発生時刻と等しくなるかあるいは大きくなるまで、シミュレーション時刻の更新動作を繰り返すことを特徴とする離散事象シミュレーション装置。

【請求項7】微分方程式で記述できない、あるいは、記述する必要がない現象をシミュレーションすると共に、外部からのデータに応じて当該シミュレーションの状態を変更することが可能なシミュレーション方法であつて、

前記外部からのデータを受け入れる際には、当該データにシミュレーション時刻を割り付け、当該割り付けられたシミュレーション時刻と当該データの内容とに応じてシミュレーションの状態を変化させ、

前記状態が変化したシミュレーションの結果得られる、当該シミュレーションされる現象について予めモデル化された事象の生起する時刻を、外部世界の時刻に対応づけることを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項8】離散的な事象についてシミュレーションを実施するシミュレーション方法において、

3

外部から入力される、シミュレーションの動作に関する制御データを受け付けると共に、当該制御データを受け付けた時点における外部世界での時刻を、当該制御データの発生時刻として割り付け、前記受け付けた制御データ及びそれに割り付けられた時刻に応じて、シミュレーション動作を変化させるものであって、当該実施されているシミュレーションでのシミュレーション時刻の進みが前記外部世界での時刻の進みと近似的に比例するように、当該シミュレーション時刻を更新することを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項 9】 離散系のシミュレーションによりその動作が模擬できるシステムの制御を行う制御装置のシステムシミュレーションテストを、前記システムの動作を模擬する離散事象シミュレーション装置を用いて実施する試験方法であって、

前記制御装置から出力される、前記システムの動作に関する制御データを、前記シミュレーション装置で受け付け、

前記制御データを受け付けた時点に対応する、前記制御装置が動作している実世界での時刻を、当該制御データの発生時刻として割り付け、

前記受け付けた制御データ及びそれに割り付けられた時刻に応じて、前記シミュレーション装置は、実行するシミュレーション動作を変化させることを特徴とする試験方法。

【請求項 10】 離散事象シミュレータで用いられるシミュレーションモデルにおいて、

遅延モジュールと割り込み検出モジュールとを少なくとも備えるループ状の部分モデルを備え、

前記遅延モジュールは、当該シミュレーションを実行する装置に備えられているクロック手段から当該遅延モジュールへのトリガーが生じた時刻を読み込み、前回の読み込みからの時刻の変化分を当該遅延モジュールの遅延時間とし、シミュレーション上の時刻が当該遅延時間経過後に前記割り込み検出モジュールへのトリガーを発生し、

前記割り込み検出モジュールは、前記トリガーがくる度に外部割り込みの有無をチェックし、割り込みが有る場合には当該割り込みに対応して予め定められた処理を表す部分モデルへのトリガーを生成し、その後、前記遅延モジュールへのトリガーを生起することを特徴とするシミュレーションモデル。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、プラントの制御システムなどの評価を行うためのシミュレーション装置、すなわち外部のシステムと相互作用しながらシミュレーションを進めるシミュレーション方法および装置に係り、特に、離散的な事象を扱う物流システムのような、微分方程式で表現する必要がない、あるいは、それで表

4

現することができないシステムについての、離散事象シミュレーション方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 シミュレーションは大きく 2 通りに分類される。一つは連続系のシミュレーションであり、もう一つは離散系のシミュレーションである。前者は、時間と空間を独立な変数として、シミュレーション対象となっている現象の時間変化を求める。後者は、事象とその発生場所を独立な変数として、該事象の発生時刻を求める。

【0003】 前者の連続系のシミュレーションは、フィードバック制御のゲイン設計や安全装置の動作タイミングの設計など利用されている。一方、後者の離散系のシミュレーションは、大規模な工場のレイアウト設計や運転手順評価、あるいは、通信システムの処理能力評価やプロトコル設計などに用いられている。このような利用局面の違いを一言で述べれば、前者は時間微分方程式で表される局所的な設計項目の評価用、後者は時間微分方程式で表せない、あるいは、表す必要のない大局的な設計項目の評価用と言える。

【0004】 最近では、シミュレーションを、設計し製作した制御システムの実機の性能試験にも活用するようになってきている。このような性能試験では、システムシミュレーションテストと呼ばれ、一般的に、実機の制御システムと該制御システムの制御対象となるシステムの動作を模擬するシミュレーション装置とを接続した状態で実行される。この性能試験において、制御システムは、様々な制御指令をシミュレーション装置へ入力し、その制御指令を反映して行われたシミュレーションの結果に基づいて、該制御システムの動作が評価される。

【0005】 ところが、従来は、後述する「発明が解決しようとする課題」の欄に示すような問題があり、離散系のシミュレーションは、上記システムシミュレーションテストへは活用されておらず、連続系のシミュレーションだけが用いられている。

【0006】 次に、本発明に関連する技術である、離散系のシミュレーションについて、より詳しく説明する。

【0007】 離散事象をシミュレーションするためのモデルには、事象中心のモデル、プロセス中心のモデル、アクティビティ中心のモデルがある。事象中心のモデルは事象の発生時点における状態の変化を記述するモデルであり、例えば、状態遷移図で表される。プロセス中心のモデルはシステムの中を物がどのように動くかを記述するモデルであり、データフロー図で表される。アクティビティ中心のモデルは事象によって生じるプラントの様々な状態の発生、終了などを記述するモデルであり、これに直接対応する図式表現はない。

【0008】 離散事象シミュレーションを実行する装置である離散事象シミュレータは、このようなモデル化方法を背景に構築されている場合が多いが、多くは事象中

5

心のモデル（またはアクティビティ中心のモデル）とプロセス中心のモデルを融合した形で実現されている。すなわち、モデルの表現上はデータフロー図的にモデル構築を行い、内部処理では事象中心の処理が行われる。

【0009】一般的な離散事象シミュレータでの処理を、より具体的に説明する。ここでは、対象とするシステムは、プロセス中心のモデルにより、時間遅れブロックなどの特別な記号を用いたブロックダイアグラムによって記述される。なお、ここでいうブロックとは、本明細書の他の部分では、場所あるいは要素と記述しているものに相当する。

【0010】ブロックダイアグラムに沿って流れる物は、トランザクションと呼ばれる。トランザクションは、(1) フューチャーイベントチェーンと(2) カレントイベントチェーンという二つのリストのいずれかに格納される。上記(1)のリストには、現在入っているブロックから出て行く予定時刻が、現在のシミュレーション時刻よりも後となるトランザクションが、出て行く時刻が早い順に格納されている。上記(2)のリストには、現在入っているブロックから出て行く予定時刻が、現在の時刻と等しいトランザクションが優先度などの順に並んでいる。

【0011】シミュレーションの実行手段は、上記(2)のリストに並んでいるトランザクションの処理が全て終了すると、上記(1)のリストの先頭の事象を選び出して、その時刻にシミュレーション時刻を合わせる。さらに、上記(1)のリストから発生時刻がシミュレーション時刻と等しい事象を全て選択し、上記(2)のリストへ移動する。こうしてできた新しいカレントイベントチェーンの先頭から、接続されたブロックに従って、滞留時間が0でないブロックまでシミュレーションを進める。このとき、滞留時間が0でないブロックでは、その時刻に滞留時間を加えた時間を出て行く時刻として、上記(1)のリストに事象を登録する。

【0012】このように、離散事象シミュレータは主に、新規に発生する事象をリストやテーブルに登録する処理と、登録された事象の検索、実行を行う処理によって実現されるものである。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】最初、離散的な物を扱う物流システムのようなプラントの動作を、連続系のシミュレーションを用いて模擬する場合の問題点について説明する。

【0014】連続系のシミュレーションでコンベアなどの物流装置をシミュレーションしようとする場合、例えばコンベアの状態として、コンベア上の搬送対象物の数と位置を採ったとすると、これら数と位置とをシミュレーションステップ毎に更新する必要がある。

【0015】これは、プラント全体での物の流れなどを評価する目的からは、必要以上に詳細なシミュレーション

6

ンである。しかもこの時、シミュレーションの時間ステップ幅 T_s とコンベアの数 V 、コンベアの長さ L 、および、搬送対象物がコンベア上に乗った時刻 T の間に、次の関係が満足されなければ、コンベアへの搬送対象物の出入りなどのタイミングを厳密にはシミュレーションすることができない。

【0016】

$$【数1】 L = n \cdot T_s \cdot V$$

$$T = m \cdot T_s$$

ここで、 n 、 m は自然数である。このような条件を、複数のコンベアが配置されている、大規模なプラント全体について成立させるのは、必ずしも容易ではなく、現実的ではない。さらに、シミュレーションが詳細であるにも関わらず、それが実際の動作を反映した正しいシミュレーションであるとは保証できない。

【0017】もちろん、シミュレーションの時間ステップ幅 T_s を極力小さくすることで、上記条件を近似的に成立させることが可能である。しかし、この時間ステップ幅 T_s をあまり小さくすると、シミュレーションに要する時間を増加させることになる。よって、上述したシステムシミュレーションテストのようにシミュレーション時間を実際にかかる時間より短いことが望まれるような用途においては、時間ステップ幅 T_s を、あまり小さくすることはできない。

【0018】以上説明したように、従来技術では、連続系のシミュレーションの適用が困難であるシステム、すなわち、微分方程式で記述できない、あるいは、記述する必要がないプラントの動作を、時間制約のある中で正確にはシミュレーションする事は困難であった。

【0019】次に、離散系のシミュレーションを、上述したシステムシミュレーションテストに活用する場合の問題点について説明する。

【0020】従来の離散系のシミュレーションでは、上述したように事象が独立な変数として扱われ、時刻は事象の従属変数となる。このため、連続系のシミュレーションと違って、シミュレーション時刻は、ほぼ連続的に進展することではなく、不規則になることが一般的である。したがって、上記システムシミュレーションテストの場合のように、外部のシステムからの適切なタイミングで制御指令等の信号を入力して、シミュレーションされる現象を変化させるような使用法は、連続系の場合に比べて著しく難しくなる。

【0021】本発明の第1の目的は、上記したような微分方程式で記述出来ない、あるいは、記述する必要がないシステムについてのシミュレーションを可能とすると共に、当該システムを制御するための制御システムのシステムシミュレーションテストに用いることができる、離散系のシミュレーション方法及びその装置を提供することにある。

【0022】本発明の第2の目的は、外部からデータを

10

20

30

40

50

7

時間的に正しい順序で取り込み、当該取り込んだデータを適切なタイミングでシミュレーションに反映させることができる、離散系のシミュレーション方法及びその装置を提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】 上記第1及び第2の目的を達成するために、本発明は、モデル化された事象についてシミュレーションを実施するシミュレーション実行手段を備えるシミュレーション装置において、外部から入力されるシミュレーション動作に関する制御データを受け付けるデータ受付手段と、外部世界での時刻と前記シミュレーション実行手段でのシミュレーション時刻とを対応づける時刻対応手段と、前記受け付けた制御データ及び前記時刻対応手段により当該制御データを受け付けた時点における外部世界の時刻に対応づけられたシミュレーション時刻に応じて、前記シミュレーション実行手段が行うシミュレーション動作を変化させるシミュレーション制御手段とを有し、前記シミュレーション実行手段は、前記モデル化された事象の生起する時刻を生成する手段を少なくとも備える。

【0024】 また、上記両目的を達成するために、本発明は、離散的な事象についてシミュレーションを実施するシミュレーション実行手段を備えるシミュレーション装置において、時計手段と、外部から入力されるシミュレーション動作に関する制御データを受け付けると共に、当該制御データを受け付けた時点での前記時計手段の示す時刻を、当該制御データの発生時刻として割り付ける、外部データ取込手段とを有し、前記シミュレーション実行手段は、前記時計手段の時刻を参照し、当該シミュレーション実行手段でのシミュレーション時刻の進みが前記時計手段の時刻の進みと比例するように、シミュレーション時刻の更新動作を制御する時刻更新手段を備え、前記受け付けた制御データ及びそれに割り付けられた時刻に応じて、そのシミュレーション動作を変化させる。

【0025】 また、上記両目的を達成するために、本発明は、シミュレーションの対象となるシステムをモデル化したモデル手段と、事象を特徴づける事象データを格納する記憶手段と、前記格納されている事象データのうち次に行うべき事象を選択する選択手段と、前記モデルに基づき前記選択された事象に対応する処理を実行する処理手段と、シミュレーション時刻の更新動作を行うと共に、更新された時間範囲に含まれる事象を前記選択手段による選択が可能な状態とする時刻更新手段とを備える離散事象シミュレーション装置において、外部からのデータを受け付けると共に、当該データを受け付けたタイミングに対応するシミュレーション時刻を当該受け付けたデータの発生時刻として割り付けるデータ取込手段と、前記発生時刻が割り付けられたデータを事象データとして前記記憶手段へ格納する事象格納手段とを有し、

8

前記選択手段は、その時点で前記記憶手段に格納されている、外部からの事象及び予め登録されていた事象のうち、その発生時刻が早い順に選択する。

【0026】 また、上記両目的を達成するために本発明は、離散事象シミュレータで用いられるシミュレーションモデルにおいて、遅延モジュールと割り込み検出モジュールとを少なくとも備えるループ状の部分モデルを備え、前記遅延モジュールは、当該シミュレーションを実行する装置に備えられているクロック手段から当該遅延モジュールへのトリガーが生起した時刻を読み込み、前回の読み込みからの時刻の変化分を当該遅延モジュールの遅延時間とし、シミュレーション上の時刻がこの遅延時間を経過した後に前記割り込み検出モジュールへのトリガーを発生し、前記割り込み検出モジュールは、前記トリガーがくる度に外部割り込みの有無をチェックし、割り込みが有る場合には当該割り込みに対応して予め定められた処理を表す部分モデルへのトリガーを生成し、その後、前記遅延モジュールへのトリガーを生起する。

【0027】

【発明の実施の形態】 本発明では、連続系のシミュレータに替わって、本発明を適用した離散系のシミュレータを使ってシミュレーションを行うことにより、上記第1及び第2の目的を達成する。これは、離散系のシミュレータの持つ、次のような性質によって実現される。

【0028】 すなわち、離散系のシミュレータは、例えば搬送対象物が入った時刻と出た時刻以外の時刻については計算しないため、連続系のシミュレータのように、連続的なコンベアの状態変化は把握することはできないが、事象の発生順序は厳密に決めることができる。よって、離散系のシミュレータによれば、複数のコンベア上を搬送対象物が多数流れている場合でも、詳細なシミュレーション無しにシステム全体の動作を、大きな計算時間を必要とせず、正確なシミュレーションが可能となる。

【0029】 ただし、上述したようなシミュレーションを実行するには、外部からデータを正しい順序で取り込み、シミュレーションに反映できる離散系のシミュレーション装置が必要となる。

【0030】 そこで、本発明による離散事象シミュレータは、例えば、連続的に時を刻む時計手段と、システムシミュレーションテストの対象となるような、外部システムからのデータを入力して、このデータに前記時計手段を参照して時刻の情報を付加し、事象テーブルに登録する外部割込事象取込手段と、実行すべき事象を選択すると共に、事象選択に伴いシミュレーション時刻を更新する場合には、前記時計手段を参照して、当該時計手段の示す時刻と前記シミュレーション時刻とがほぼ比例関係になるように、選択した事象の実行タイミングを調整する機能を有するシミュレーション実行手段とを備える。

【0031】外部割込事象取込手段は、外部からのデータの入力の有無を常時チェックして、データの入力があった場合には、時計手段を参照して時刻を読み出し、該データに時刻の情報を付加して事象テーブルに記憶する。

【0032】シミュレーション実行手段は、事前に与えられたシミュレーション対象システムのモデルのデータに基づき、事象の選択、シミュレーション時刻の更新（必要な場合のみ）、事象に対する処理の実施、派生事象の登録を繰り返す。

【0033】本発明においては、事象選択に伴いシミュレーション時刻を更新する場合には、時計手段を参照してシミュレーション開始からの経過時間を計算し、選択された事象の発生時刻がシミュレーションの経過時間よりも早い場合には実行を見合わせ、また、割込み事象があった場合には、先に選択されていた事象ではなく、当該割込み事象に対応する処理を実施する。また、割込み事象が無かった場合には選択された事象の発生時刻が経過時間と一致した時点で選択された事象に対応する処理を行う。

【0034】本発明によれば、外部で発生したデータを離散系のシミュレータにも正しい発生順序で取り込むことが可能となり、離散系のシミュレーションを外部のシステムと組み合わせて使用できるようになる。

【0035】以下、本発明の一実施形態を、図1～図11を参照しながら詳細に説明する。なお、各図を通して同等の要素には同一の符号を付している。

【0036】本実施形態の説明に先立ち、本発明の適用対象となる離散事象シミュレータの基本的な構成について説明する。

【0037】離散事象シミュレータの基本構成には、例えば図3に示すように、事象選択手段301、シミュレーション時刻更新手段304、事象処理手段302、事象テーブル104、および、シミュレーション対象システムモデルの定義データ303が備えられている。

【0038】上記図3に示した離散事象シミュレータの各手段は、例えば図2のフローチャートのように動作する。

【0039】すなわち、離散事象シミュレータがユーザにより起動されると、まず初期化が行われる（ステップ201）。初期化では、ユーザによりシミュレーションする対象のシステムに関するモデルの定義が行われる。更に、シミュレーション終了時刻のユーザによる設定が行われ、これらに基づいて初期事象を事象テーブル104に登録する。

【0040】シミュレーション開始後は、事象選択手段301が事象テーブル104に登録された事象をサーチし、選択可能な事象から一つの事象を選択する（ステップ202）。選択の可否の判定の結果（ステップ203）、選択ができた場合には、事象処理手段302がシ

ミュレーション対象システムモデル303に基づき、選択された事象に対応する処理を実施する（ステップ204）。

【0041】次に、この処理に関する派生事象の有無をチェックし（ステップ205）、有りの場合には、事象処理手段302がシミュレーション対象システムモデル303に基づき、派生事象を事象テーブル104に登録する。この後、または派生事象の有無のチェック（ステップ205）で派生事象が無かった場合は、ステップ202の処理に戻る。

【0042】一方、事象選択の可否のチェック（ステップ203）で、選択できなかった場合には、事象選択手段301がシミュレーション時刻更新手段304にシミュレーション時刻更新を要求する（ステップ207）。シミュレーション時刻更新手段304は、事象テーブル104に登録された事象をサーチし、未選択の事象の中から最も早い時刻に生起する予定の事象を選択し、これらを選択可能とする（ステップ208）。

【0043】ここで選択ができたかどうか、ならびに選択した事象の生起時刻がシミュレーション終了時刻よりも後であるか否かをチェックし（ステップ209）、選択不可能または選択した事象の生起時刻がシミュレーション終了時刻よりも後の場合は、シミュレーションを終了とする（ステップ212）。

【0044】上記条件以外の場合は、シミュレーション時刻更新手段304がシミュレーション時刻を更新し（ステップ210）、更新した旨を事象選択手段301に通知する。この後はステップ202に戻って、事象の選択以下の処理が繰り返され、シミュレーションが進展して行く。

【0045】シミュレーション対象システムモデル401とその定義データ303の一例を図4に示す。この例は、「停止する事象」も発生し得るように定義したベルトコンベアのモデルを示したものである。モデル401は、モデルがどのような場所411～413（要素あるいはブロックと同義）から構成され、それらがどのような接続関係を持つかを定義した情報である。

【0046】これはシミュレーション開始以前に、シミュレータのユーザにより、例えばビジュアルプログラミング言語のような、周知のモデル作成手段により、システムの挙動を表すデータフローダイアグラムを記述すること等で定義される。こうして得られた情報は、シミュレータのプリプロセッサによる変換処理402によって、シミュレーション実行時に用いるモデルの定義データ303に変換される。

【0047】また、上記モデル401を構成する各場所については、どの入口（421、422、431、432）に対して、どのような処理を行なうかということを含め、予め別途定義しておく。また、場所の名前も通常、その処理を反映するように、その場所に付与しておく。

10

20

30

40

50

11

【0048】事象テーブル104は、例えば図5に示すような構成を備えている。事象テーブル104は、カレントイベントチェーン510とフューチャーイベントチェーン520とを有する。

【0049】フューチャーイベントチェーン520には、事象の発生時刻521、事象に関わる処理の識別子522、及び、事象の起きる場所523に関する情報が格納されていると共に、事象に関連する物に関する情報あるいはその識別ID等が記録できる領域524が設けられている。ここで、識別子522としては、例えば、事象を表す処理のサブルーチンのアドレスなどが用いられる。

【0050】また、カレントイベントチェーン510の構成は、フューチャーイベントチェーン520の構成と基本的には同じであるが、事象の発生時刻521は必須ではない。また、物に関する情報を、その識別IDなどで記憶している場合は、物の情報を格納するテーブル530が別に必要となる。ここでは、そのような実現方式の場合を例に示している。

【0051】また、上記の「事象に関連する物」というのは、例えば、コンベアに段ボールが「入る事象」が生じた場合の、「段ボール」のことであり、それに関する情報とは、例えば、シミュレーションによって、コンベアを通った段ボールの数を種類やサイズ毎に集計した場合に、個々の段ボール毎の種別やサイズを表す情報のことである。

【0052】上記図3の離散事象シミュレータの動作を、図4に示すようなモデルを用いて、より具体的に説明する。なお、図3の定義データ303は、図4のモデルの画面上の情報401を計算機が処理できる形に変換した物であり、ここではモデルの画面上の構成を、モデルの定義データ303とみなして説明する。

【0053】モデル上に定義されている場所には、入口及び出口のうち少なくとも一方が設けられている。例えば、図4のDelay要素411においては、入口421と出口422がある。入口あるいは出口は、事象処理手段302にとっては、関数のアドレスに対応する。従って、モデル上のある場所の入口に物が入る事象が発生した場合には、その入口に対応する関数を、入った物の属性値を引数としてコールする。

【0054】例えば、図4のDelay要素411については、入口421に「物の到着という事象」が発生すると、時間遅れの計算処理を実施し、この計算結果に基づいて「物が出るという事象」が起きる時刻を決め、この新しい事象をフューチャーイベントチェーン520に格納する。また、モデル上の場所が、例えばSwitchを表す要素である場合には、スイッチの条件判定演算を行う関数をコールし、2つの出口のいずれかへの「出る事象」をカレントイベントチェーン510へ格納する。

12

【0055】このような様々な事象の処理結果に基づいて、事象テーブル104に登録された事象の中から、事象選択手段301は最も発生時刻が早い事象を選択し、これを次の事象として実施する。カレントイベントチェーン510に選択できる事象がない場合には、シミュレーション時刻更新手段304が、フューチャーイベントチェーン520の中から、次に生じるべき事象の時刻を読み込み、シミュレーション時刻として設定する。また、その時刻に生じる全ての事象をフューチャーイベントチェーン520からカレントイベントチェーンへ510移動する。

【0056】こうした処理の繰り返しにより、先ほど入った「物が出る事象」も処理され、出口に接続された別の場所の入口に対する「物が入る事象」が新たに登録され、シミュレーション上の時間が進展して行く。なお、演算などの処理の結果の大部分は、データフローダイアグラム上のアークを流れる物の情報に関するテーブル530に格納されるが、事象の発生時刻に関わる計算結果だけは、事象テーブル104上に格納される。

【0057】また、事象は大別すると次の4つのタイプに分かれる。すなわち、入る事象と出る事象が時間遅れなく生起するタイプ、何らかの時間遅れを伴って生起するタイプ、入ったきり出てこないタイプ、および出るだけのタイプである。

【0058】次に、上述の事象選択手段301、事象処理手段302、シミュレーション時刻更新手段304を、それぞれ実現する処理プログラムの一例を説明する。

【0059】先ず、事象選択手段301を実現する処理プログラム例を、図6を参照して説明する。

【0060】事象選択手段301の起動時には、シミュレーション未終了で、シミュレーション時刻更新要求有りの状態とし、次にシミュレーションが終了したか否かを確認する(ステップ601)。未終了であれば、シミュレーション時刻更新が完了しているかどうかを確認し(ステップ602)、更新完了の場合には、カレントイベントチェーン510の先頭の事象を検索・選択し(ステップ603)、選択可能な事象が有れば(ステップ604)、選択した事象を処理を事象処理手段302に要求する(ステップ605)。

【0061】さらに、上記処理の終了を確認後(ステップ606)、該選択した事象をカレントイベントチェーン510からこの事象を削除し(ステップ607)、ステップ601からの処理を繰り返す。また、ステップ604で選択可能な事象がないと判定された場合は(ステップ604でN)、シミュレーション時刻更新手段304にシミュレーション時刻更新要求を出し(ステップ608)、ステップ601からの処理を繰り返す。

【0062】次に、事象処理手段302を実現する処理プログラム例を、図7を参照して説明する。

【0063】事象処理手段302の起動時には、シミュレーション未終了で、シミュレーション時刻更新要求無しの状態とし、次にシミュレーションが終了したか否かを確認する(ステップ701)。未終了であれば、事象処理要求が有るかどうかを確認し(ステップ702)、有る場合には、前述のように関数をコールして処理を行う(ステップ703)。

【0064】さらに、上記処理の結果、新たな事象が発生する場合には(ステップ704)、上記図4のデータフローダイアグラムに対応するモデルの定義データ303より、その場所の次にある場所への「入る事象」をカレントイベントチェーン510へ登録する(ステップ705)。例えば、Fail要素412からの「出る事象」に対しては、Delay要素411の入口431への「入る事象」が対応する。この際、時刻や関連する情報も併せて登録する。なお、新たに発生する事象が時間遅れなく生じる場合は、カレントイベントチェーン510へ、時間遅れがある場合はフューチャーイベントチェーン520へ登録する。

【0065】ステップ705の後には、再びステップ701からの処理を繰り返す。また、モデルの定義データ303によっては、派生する事象がない場合も有る(ステップ704)が、その場合にも、また、ステップ701からの処理を繰り返す。

【0066】次に、シミュレーション時刻更新手段304を実現する処理プログラム例を、図8を参照して説明する。

【0067】シミュレーション時刻更新手段304の起動時には、シミュレーション未終了で、シミュレーション時刻更新要求有りの状態とし、次にフューチャーイベントチェーン520の先頭の事象の生起時刻をシミュレーション時刻とする(ステップ802)。また、起動後には、シミュレーション時刻更新要求の有無を確認し(ステップ801)、要求が有ればフューチャーイベントチェーン520の先頭の事象の生起時刻をシミュレーション時刻とする(ステップ802)。

【0068】次に、シミュレーション時刻がシミュレーションの終了時刻以降であるか、あるいは、選択すべき事象が無いかを判定し、いずれかの条件に適合する場合には(ステップ803)、シミュレーション終了とする。それ以外の場合には、シミュレーション時刻と同じ生起時刻を持つ事象をフューチャーイベントチェーン520の中から全て選別し、これらをカレントイベントチェーン510へ移動し(ステップ804)、シミュレーション時刻更新処理が完了した旨を事象選択手段301へ通知する(ステップ805)。この後は、ステップ801からの処理を繰り返す。

【0069】離散事象シミュレータにおいては、上述したように、事象選択手段301、事象処理手段302、及び、シミュレーション時刻更新手段304が、モデル

の定義データ303と事象テーブル104に順次アクセスしながらシミュレーションが進められる。

【0070】以上が本発明の適用対象となる離散事象シミュレータの基本構成についての説明である。次に、図1および図9～12を用いて、本発明の一実施形態について説明する。なお、以下の説明では、上述した基本構成と異なる構成についてのみ説明を行い、同じものについては同じ番号を付しその説明を省略する。

【0071】本実施形態の離散事象シミュレータは、図1に示すように、上述したようなシステムシミュレーションテストの対象となる外部システム106からの制御に関する指令などの信号を受け付け、当該受け付けた信号の内容を反映しつつ、離散系のシミュレーションを実行するもので、シミュレーション実行手段101と、外部割込事象取込手段103と、両手段101及び103によって参照される共通の時計105と、事象テーブル104とを備える。

【0072】外部システム106とは、例えば、その動作が離散系のシミュレータにより模擬できる、プラントシステム等の制御を行うための制御装置である。ユーザはこの制御装置を介して、所望の制御指令を、所望のタイミングで離散事象シミュレータへ送る。

【0073】共通の時計105は、シミュレーション開始から経過時間を連続的に刻む時計であり、例えば本実施形態の離散事象シミュレータを実装する計算機のクロックにより刻まれる時刻をベースにした時計である。

【0074】シミュレーション実行手段101は、上述した図3の離散事象シミュレータと比較して、シミュレーション時刻更新手段304の機能だけが異なっている。本実施形態でのシミュレーション時刻更新手段の符号は102とする。

【0075】最初、本実施形態の離散事象シミュレータにおける動作の流れを、図9のフローチャートと図1の構成図とに基づいて説明する。なお、図9のステップ2010、ステップ2020～2070、ステップ2090～2120は、図2のステップ201、ステップ202～207、ステップ209～212と同じ処理である。

【0076】初期化(ステップ2010)では、上記図2での処理と同様に、シミュレーションする対象のシステムに関するモデルの定義が、ユーザによって行われる。また、シミュレーション終了時刻のユーザによる設定が行われ、これらに基づいて初期事象を事象テーブル104に登録する。本実施形態では、さらに、外部割込事象取込手段103の起動(ステップ2011)と共通の時計105の初期化とを行って(ステップ2012)、初期化動作を終了する。

【0077】シミュレーション開始後の処理は、ステップ2071を除き、基本的には上記図2の処理と同様である。

15

【0078】すなわち、事象選択手段301が事象テーブル104に登録された事象をサーチし、選択可能な事象から一つの事象を選択する(ステップ2020)。選択の可否の判定の結果(ステップ2030)、選択ができた場合は、事象処理手段302がシミュレーション対象システムモデル303に基づき、選択された事象に対応する処理を実施する(ステップ2040)。さらに、この処理に対する派生事象の有無をチェックし(ステップ2050)、有りの場合には、事象処理手段302がシミュレーション対象システムモデル303に基づき、派生事象を事象テーブル104に登録する(ステップ2060)。ステップ2060の後、または、派生事象の有無のチェック(ステップ2050)で派生事象が無かった場合には、ステップ2020の処理に戻る。

【0079】一方、事象選択の可否のチェック(ステップ2030)で、事象の選択できなかった場合には、事象選択手段301がシミュレーション時刻更新手段102にシミュレーション時刻更新を要求する(ステップ2070)。

【0080】次に、ステップ2071では以下の処理が実行される。すなわち、上記要求が行われると、シミュレーション時刻更新手段102は、事象テーブル104に登録された事象をサーチし、未選択の事象の中から最も早い時刻に生起する予定の事象を選択する。この選択の際には、共通の時計105の時刻を参照することによって、前記選択した事象の生起時刻がシミュレーション開始からの経過時間と等しいか、あるいは、それよりも大きくなるまでの期間中、外部からの割込の有無の確認を継続的に監視する。共通の時計105の時刻が、前記選択した事象の生起時刻と等しくなるか、あるいは、それ以上になるか、あるいは、外部割込があった場合には、外部割込により追加された事象をも含めて、再度、最も早い生起時刻の事象を選択し、これらを選択可能とする。本処理については図11を参照して、より詳細に説明する。

【0081】次に、選択ができたかどうか、ならびに、選択した事象の生起時刻がシミュレーション終了時刻よりも後であるか否かをチェックし(ステップ2090)、選択不可能または選択した事象の生起時刻がシミュレーション終了時刻よりも後の場合は、シミュレーションを終了とする(ステップ2120)。また、上記条件以外の場合には(ステップ2090でNo)、シミュレーション時刻更新手段102がシミュレーション時刻を更新する(ステップ2100)。

【0082】最後に、シミュレーション時刻の更新が完了した旨を事象選択手段301に通知し(ステップ2110)、その後、ステップ2020に戻って、事象の選択以下の処理を繰り返す。

【0083】次に、本発明に固有の手段である外部割込事象取込手段103と、本発明においてはその作用が従

16

来のものとは異なるシミュレーション時刻更新手段102との処理を実現するアルゴリズムの一例について、図10～図12を用いて説明する。

【0084】外部割込事象取込手段103を実現する処理のプログラム例を、図10のフローチャートを用いて説明する。

【0085】シミュレーション実行手段101によって外部割込事象取込手段103が起動されると、まず外部システム106からのデータの割込みの有無をチェックする(ステップ1001)。外部システム106からのデータの割込みの有無の判定(ステップ1002)の結果、割込がなければステップ1001からの処理を繰り返す。一方、割込があれば、例えば割込フラグをセットし(ステップ1003)、シミュレーション時刻更新手段102に外部割込事象のあったことを通知する。

【0086】さらに、外部システム106からのデータを読み込み(ステップ1004)、共通の時計105からの時刻の読み込みを行う(ステップ1005)。このようにして読み込んだデータと時刻を基に、データの受信をシミュレーション実行手段101にとっての事象として、事象テーブル104の、例えばフィーチャーイベントチェーン520(図5参照)に登録する(ステップ1006)。

【0087】外部システム106からのデータには、当該データがシミュレーション対象システムモデル303のどの要素(モジュール)のどの入口に対するデータであるのかということを表す情報と、この送信先要素に対して送るべき情報の内容として、例えば起こるべき事象やその生起時刻に関する情報とが記録されている。

【0088】なお、本実施形態では、割込み事象をフィーチャーイベントチェーン520に登録する場合を想定して説明するが、割込み事象を例えばカレントイベントチェーン510に直接登録する構成や、割込み事象専用のテーブルを別途設け、事象の選択の際に、従来の事象テーブルに加え、当該割込み事象専用のテーブルを検索する構成としても良い。

【0089】次に、シミュレーション時刻更新手段102を実現する処理のプログラム例を図11を用いて説明する。ここで、図11のステップ801、ステップ1802～1805は、上記図8のステップ801、ステップ802～805と同様な処理を用いる。

【0090】シミュレーション時刻更新手段102の起動時には、シミュレーション未終了で、シミュレーション時刻更新要求有りの状態とし、ステップ1102以降の処理に入る。起動後は、シミュレーション時刻更新要求の有無を確認し(ステップ801)、要求があればフィーチャーイベントチェーン520の先頭の事象の生起時刻を読み込み(ステップ1101)、続いて共通の時計105からシミュレーション開始からの経過時間を読み込む(ステップ1102)。

17

【0091】次に、外部割込事象取込手段103からの割込を通知する割込フラッグを確認する(ステップ1103)。割込がある場合(ステップ1104)には、割込フラッグを解除(ステップ1106)した後、フューチャイベントチェーン520の先頭の事象の時刻を、シミュレーション時刻にセットする(ステップ1802)。

【0092】割込が無かった場合は、ステップ1101で読み込んだ時刻が、共通の時計105の示す時刻より大きいかなかをチェックし(ステップ1105)、大きければステップ1802以下の処理を行う。一方、ステップ1101で読み込んだ時刻が、共通の時計105の示す時刻より小さい場合は、ステップ1102~1105までの処理を繰り返す。

【0093】本実施形態では、ステップ1102~1105の処理を繰り返すことによって、図12(a)に示すような、本来は断続的に進展する離散事象シミュレータ内の時刻 T_s と、外部システム106で用いられている、いわば実世界の連続的に進展する時刻 T_o との対応関係を調整することにより、図12(b)に示すように、本来は無関係に進む両時刻の相関をとることを可能としている。なお、図12(b)において、1201は T_s と T_o との関係を示すラインであり、1202はその一部を拡大したものである。厳密に言えば、シミュレーション時刻 T_s は、この拡大部分1202に示されているように、上記ステップ1102~1105の処理によって進められる時間ステップ1203毎に段階的に進展する。

【0094】ステップ1802以降は、上記図8での処理と同じ処理となる。すなわち、フューチャイベントチェーン520の先頭の事象の時刻を、シミュレーション時刻にセットし(ステップ1802)、その後、シミュレーション時刻がシミュレーションの終了時刻より大きいかな、事象を選択できるかなをチェックする(ステップ1803)。シミュレーション時刻がシミュレーションの終了時刻より大きい場合、あるいは、事象が選択できない場合には、シミュレーション終了とする。それ以外の場合には、シミュレーション時刻と同じ生起時刻を持つ事象をフューチャイベントチェーン520の中から全て選別し、これらをカレントイベントチェーン510へ移動し(ステップ1804)、シミュレーション時刻更新完了とする(ステップ1805)。この後はステップ801以降の処理を繰り返す。

【0095】以上のようにして、本実施形態の離散事象シミュレータによれば、離散系のシミュレーションを、外部のシステム106と常に相関をとりながら、インタラクティブな状態で実施することが可能となる。

【0096】本実施形態は、従来の離散事象シミュレーションにおいては、シミュレーション時刻の進展が不規則になるため、外部のシステム106とのデータの出入

18

力によって事象の進展の様子が変化するようなシミュレーションを行うことが困難であるという問題に対し、シミュレーション実行手段101と外部からのデータを取り込む外部割込事象取込手段103とが、共通の時計105を参照しながら歩調を合わせて処理を行うようにすることによって、外部からのデータをシミュレーション実行手段101内で不規則に変化するシミュレーション時刻に合わせて取り込むことが可能となることに着目してなされたものである。

【0097】本実施形態によれば、外部からのデータをシミュレータ内部に正しい順序で取り込むことが可能となる。これにより離散事象シミュレータをシミュレーション対象システムモデルの評価だけでなく、このような評価に基づいて作成された制御装置などの外部のシステムと組み合わせることで、上述したシステムシミュレーションテストのような試験にも活用できるようになるという効果がある。

【0098】次に、本発明を適用した離散事象シミュレータの他の実施形態について、図13を参照して説明する。

【0099】上記図1の実施形態では、共通の時計105及びシミュレーション時刻更新手段102を設けることで、本来は断続的に進展する離散事象シミュレータ内のシミュレーション時刻 T_s を、図12(b)に示すように、共通の時計105の時刻(実世界の時刻) T_o に比例する時刻となるように調整している。

【0100】本実施形態は、上記図1の実施形態において、シミュレーション時刻 T_s と時計の時刻 T_o との関係を、図13のライン1201(傾き=1)からライン1211(傾き>1)あるいはライン1212(傾き<1)へ変えることによって、加速シミュレーションあるいは減速シミュレーションを実現する。

【0101】より具体的には、上記図11のシミュレーション時刻更新手段102のステップ1105の判定、ならびに、上記図10の外部割込事象取込手段103のステップ1006の処理を次のように変更する。

【0102】ステップ1006：データの受信を事象として事象テーブルに登録

(事象の生起時刻を時計の時刻・ m とする)

ステップ1105：先頭事象の生起時刻 \geq 時計の時刻・ m のチェック

ここで、 m は実数である。

【0103】本実施形態によれば、シミュレーション時刻 T_s 及び時計の時刻 T_o を同じように進めるだけでなく、それらの対応関係を変えることによって、外部システム106からのデータを取込つつ、加速あるいは減速シミュレーションを実行することができる。

【0104】次に、本発明を適用した他の実施形態について、図14を参照して説明する。

【0105】本実施形態は、上述した実施形態の離散事

19

象シミュレータの替わりに、シミュレーションされる現象、例えば比較的簡単なプラントのモデルに関して、注目する事象の生起する時刻を生成する手段を備えるシミュレータ装置に本発明を適用したものである。

【0106】本実施形態のシミュレータでは、上述したような離散系のシミュレータのように複雑な処理を行わずに、外部からの入力される条件に基づいて事象の発生順序が変わるような、分岐を含む事象の発生シーケンスと事象間の発生時間間隔または時刻を格納したテーブルに基づいて、事象およびその発生時刻を生成する。

【0107】本実施形態のシミュレータ装置は、例えば図14の示すように、上記図1の実施形態で説明した、外部システム106からのデータを取り込む外部割込事象取込手段103及び共通の時計105に加えて、外部割込事象取込手段103で取り込まれる様々な制御信号と条件（ケース）との対応関係を予め設定しているケース選択テーブル1401と、各ケース毎に設定されている事象データ（1402a～1402n）を格納する事象データテーブル1401とを備えている。

【0108】各事象データ1402には、複数組の、事象に関する情報と各事象について設定されている、当該ケースが選択された後のオフセット時刻に関する情報が含まれている。

【0109】本実施形態のシミュレータ装置は、さらに、ケース選択テーブル1401のデータに基づき前記取り込まれた制御信号に対応するケースを選択するケース選択手段1403と、ケース選択手段1403により選択された事象データを事象データテーブル1402から読み込むと共に、その時点での共通の時計105の時刻を読み込むことにより、読み込んだ事象データに対応する事象及びその発生時刻を生成する、シミュレーション実行手段1404とを有する。

【0110】本実施形態によれば、共通の時計105と外部割込事象取込手段103とを用いることで、より簡易なシミュレーションにおいても、シミュレータ内部の断続的な時刻と外部世界での連続的な時刻との相関をとることが可能となる。

【0111】次に、本発明のその他の実施形態について図15～17を用いて説明する。本実施形態では、シミュレーション実行手段に特別な機能を設けず、その代わりにシミュレーションモデルとして、上述した実施形態と同等な効果を奏する部分モデルを備えたものを使用する。

【0112】本実施形態でのハードウェア構成としては、従来の離散事象シミュレータと同様のものを用いることができる。より具体的には、例えば図15に示すように、与えられるシミュレーションモデルに応じてシミュレーションを実行するシミュレーション実行手段101と、当該シミュレータの演算処理の制御等のための時計手段1503と、割り込み事象等を入力するための割

20

り込み事象入力手段1505とを備えている。

【0113】シミュレーション実行手段101は、例えば図3に示すような従来のものと同じ構成の装置を用いる。なお、図15に示す構成には、図3では示されていない標準インターフェース手段1501が含まれている。この標準インターフェース手段1501は、通常、事象選択手段301で選択された事象に対応する処理の中からファイルやI/Oへアクセスする場合に用いられる。

【0114】本実施形態では、この標準インターフェース手段1501を利用して、時計手段1503および割り込み事象入力手段1505と、シミュレーション実行手段101とを、メモリあるいはファイルあるいはI/O手段である手段1502、1504を介して接続している。

【0115】本実施形態によるシミュレーションモデルには、本来シミュレーションの対象となる現象に対応する主モデル（図示せず）に加えて、例えば図16に示すように、変化時間検出モジュール1601、遅延モジュール1602、外部割り込み検出モジュール1603、初期トリガー生成モジュール1604、マージモジュール1605、および外部割り込みに対応した処理を表すモデル1606からなる部分モデルが備えられている。

【0116】このうち変化時間検出モジュール1601、外部割り込み検出モジュール1602、外部割り込みに対応した処理を表すモデル1606は、新たに作成しておく必要が有るが、その他のモジュールは通常の離散事象シミュレータに予め用意されている標準的な機能モジュールである。

【0117】変化時間検出モジュール1601は、トリガー入力を受け、それに応じて標準インターフェース手段1501およびメモリ等の手段1502を介して、時計手段1503の時刻を読み込み、この読み込んだ時刻と前回読み込んだ時刻との変化分を求める。遅延モジュール1602では、変化時間検出モジュール1601で検出された時刻の変化分を遅延時間とし、シミュレーション上での時刻が当該遅延時間を経過した後に、割り込み検出モジュール1603へのトリガーを生起する。

【0118】割り込み検出モジュール1603は、トリガー入力を受け付ける毎に、メモリ等の手段1504における、当該モジュールの設定値として予め決めておいた所定の場所へ標準インターフェース手段1501を通してアクセスし、外部割り込みデータの有無をチェックする。外部割り込みが有る場合には、それに対応する処理を表す部分モデルへのトリガーを生成した後、遅延モジュール1602へのトリガーを生起する。

【0119】外部割り込みに対応した処理を表すモジュール1606は、0個以上のモデルからなる。ここで、0個とは割り込みが有った時だけ何かの処理をしないという場合に相当する。また、例えば図7（a）に示すよ

21

うに、割り込み事象が有る場合には、派生事象 1606a を生起するようにモジュールを作っておくことで、割り込み有りの場合に対応する処理を行わせることができる。また、図 7 (b) に示すように、割り込みの有無に応じて、異なる派生事象 1606b あるいは 1606c を生起するように外部割り込み検出モジュール 1603 を構成しておくことにより、より複雑な割り込み対応処理が可能となる。

【0120】本実施形態において、シミュレーションが起動されると、シミュレーション時刻 0 で初期トリガー生成モジュール 1604 からトリガーが生成され、該トリガーが、マージモジュール 1605 を介して変化時間検出モジュール 1601 へ入力される。変化時間検出モジュール 1601 を、前記シミュレーションの起動と共にリセットする構成としておくことにより、該シミュレーションの起動時刻からトリガー生成等に要する微小な時間変化が検出できる。

【0121】本実施形態ではこの微小な時間の遅延が遅延モジュール 1602 に設定されるため、遅延モジュール 1602 からトリガーが生成され割り込み検出モジュール 1603 での処理が開始されるのは、シミュレーション時刻 0 よりわずかに遅い時刻となる。したがって、それより以前に、その他の本来シミュレーションしたい対象の上記主モデルに関する初期化がシミュレーション時刻 0 で次々に実施される。これらの処理の終了後、上述したわずかな遅延時間よりも短い時間内で生起する事象がなければ、遅延モジュール 1602 からのトリガーが生起し、シミュレーション時刻がわずかに進む。

【0122】外部割り込み検出モジュール 1603 では、上記トリガーの入力を受けて割り込みの有無を判定する。割り込みがあれば、その割り込みに対応した処理を表すモデル 1606 へのトリガーを生起する。割り込みがなければ、再びマージモジュール 1605 を通して変化時間検出モジュール 1601 へのトリガーが生起され、そこまで要した時間変化分が遅延時間として遅延モジュール 1602 に新たに設定される。

【0123】通常、本来シミュレーションしたい現象の状態変化は、個々の事象に対応する処理を実施する時間に比べてはるかに大きいため、遅延モジュール 1602 での遅延が最も短い時間となる。これは遅延モジュール 1602 が処理そのものにかかった時間を遅延時間としているため、シミュレーションしたい現象の状態変化の時間間隔と、処理そのものに要する時間が等しくなるためである。このため、シミュレーション実行中は主に、図 16 の 1601、1602、1603、1605 のループの処理が行われることになる。

【0124】ところで、遅延モジュールの動作は、シミュレーション時刻の決定に利用できるという性質がある。例えば遅延モジュールが 1 つであって、そこでの遅延時間を 10 とし、遅延モジュールへデータが入った時

22

刻が 1 であるとする、シミュレーションに現れる時刻は 1 と 11 ($= 10 + 1$) だけである。したがって、遅延モジュールに実際の処理に要した時間を遅延時間として設定することで、シミュレーション時刻が離散的に進展することを防ぎ、外部の時刻にほぼ同期させることが可能となる。

【0125】さらに、このような外部の時刻とほぼ同期した微小な時間変化の度に、外部割り込みの有無をチェックすることにより、ほぼ任意のタイミングで外部割り込みを受け付けることが可能な離散事象シミュレーションを、モデルの定義のレベルで実現することができる。

【0126】

【発明の効果】本発明によれば、微分方程式で記述出来ない、あるいは、記述する必要がないシステムについてのシミュレーションを可能とすると共に、当該システムを制御するための制御システムのシステムシミュレーションテストに用いることができる、離散系のシミュレーション方法及びその装置を提供することができる。

【0127】さらに、本発明によれば、外部からのデータを時間的に正しい順序で取り込み、当該取り込んだデータを適切なタイミングで、シミュレーションに反映させることができる、離散系のシミュレーション方法及びその装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明を適用した離散事象シミュレータの一実施形態の構成の一例を示すブロック図。

【図 2】図 3 の離散事象シミュレータでの処理例を示すフローチャート。

【図 3】離散事象シミュレータの基本構成の一例を示すブロック図。

【図 4】シミュレーション対象システムモデルの一例を示す説明図。

【図 5】事象テーブルの構成例を示す説明図。

【図 6】事象選択手段での処理例を示すフローチャート。

【図 7】事象処理手段での処理例を示すフローチャート。

【図 8】シミュレーション時刻更新手段での処理例を示すフローチャート。

【図 9】図 1 の離散事象シミュレータでの処理例を示すフローチャート。

【図 10】図 9 の外部割込事象取込手段の処理例を示すフローチャート。

【図 11】図 9 のシミュレーション時刻更新手段の処理例を示すフローチャート。

【図 12】図 12 (a) : 従来の離散事象シミュレータ内でのシミュレーション時刻と、実世界との時刻との対応関係を示すグラフ。

図 12 (b) : 図 1 の離散事象シミュレータ内でのシミュレーション時刻と、共通の時計の時刻との対応関係を

23

示すグラフ。

【図13】他の実施形態による離散事象シミュレータ内のシミュレーション時刻と、共通の時計の時刻との対応関係を示すグラフ。

【図14】本発明を適用したシミュレータの他の実施形態における構成例を示すブロック図。

【図15】本発明を適用した離散事象シミュレータの他の実施形態における構成例を示すブロック図。

【図16】本発明の他の実施形態によるシミュレーションモデルに含まれる部分モデルの一例を示すブロック図。

24

*【図17】図17(a)：割り込みに対応した処理のモデルの一例を示すブロック図。

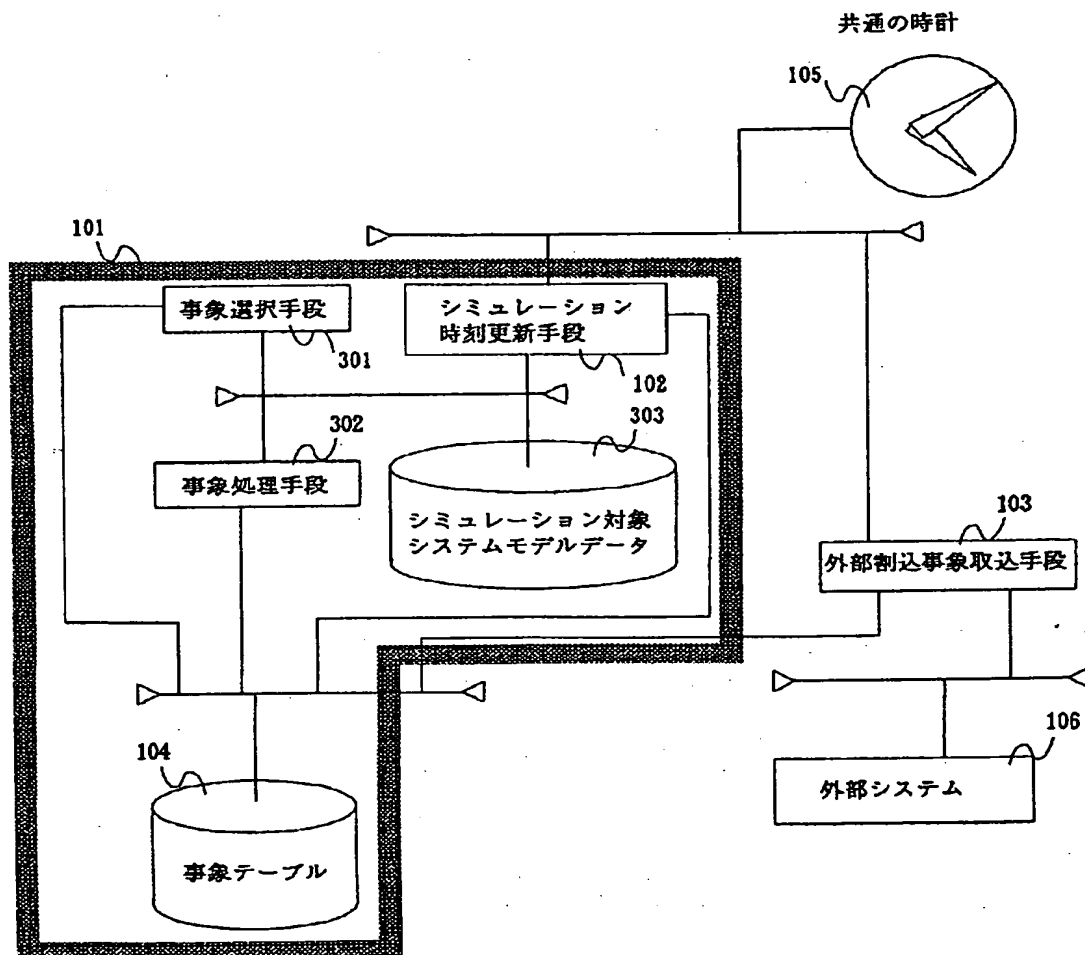
図17(b)：割り込みに対応した処理のモデルの他の例を示すブロック図。

【符号の説明】

101…シミュレーション実行手段、102…シミュレーション時刻更新手段、103…外部割込事象取込手段、104…事象テーブル、105…共通の時計、106…外部システム、301…事象選択手段、302…事象処理手段、303…シミュレーション対象システムモデルデータ、304…シミュレーション時刻更新手段。

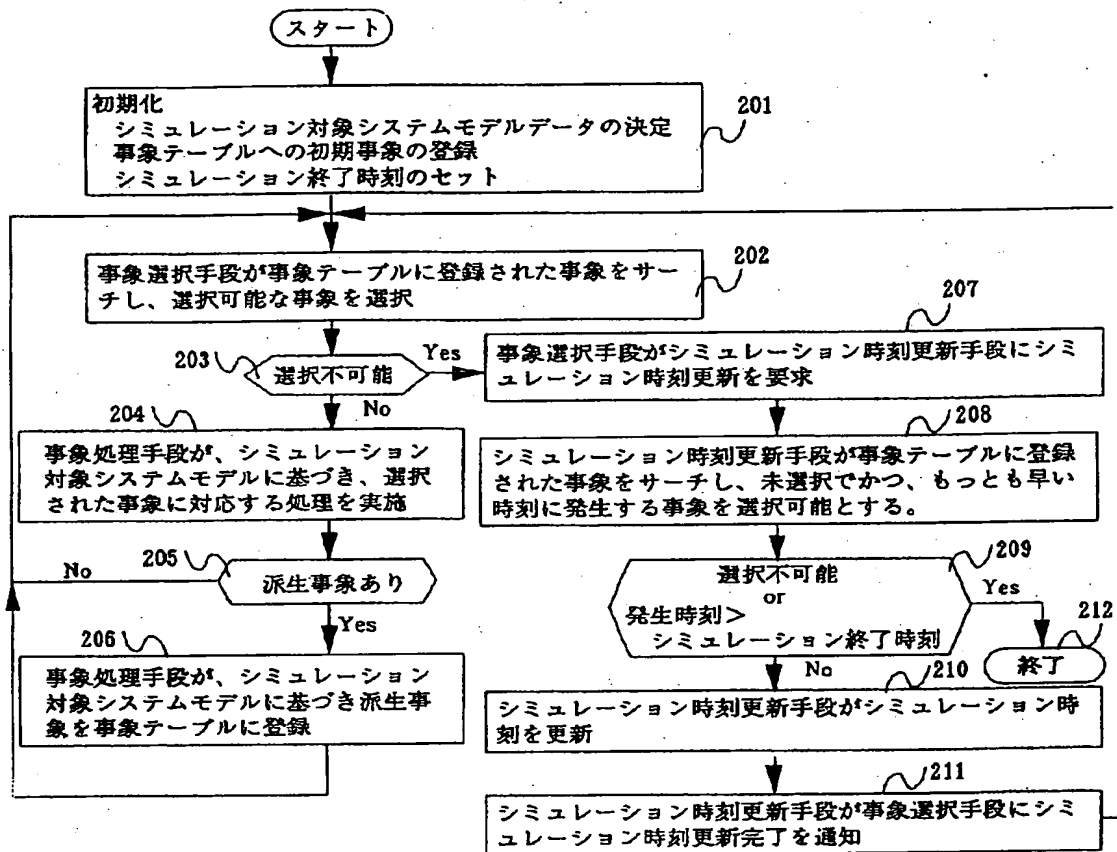
【図1】

図1

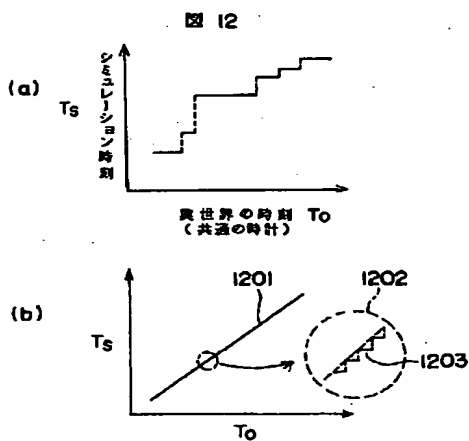


【図2】

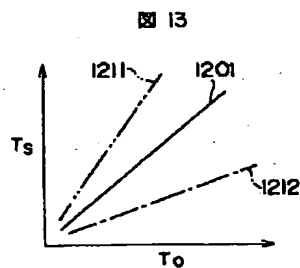
図2



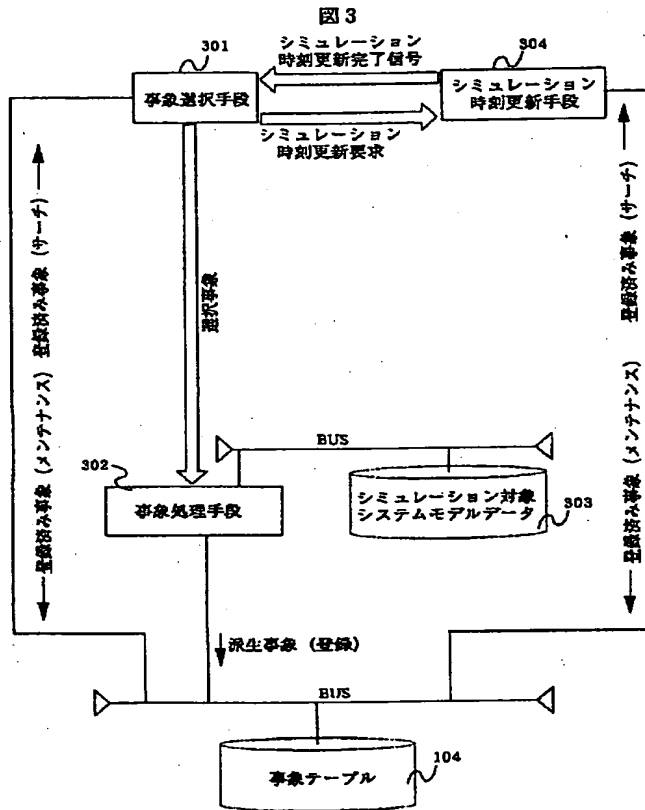
【図12】



【図13】

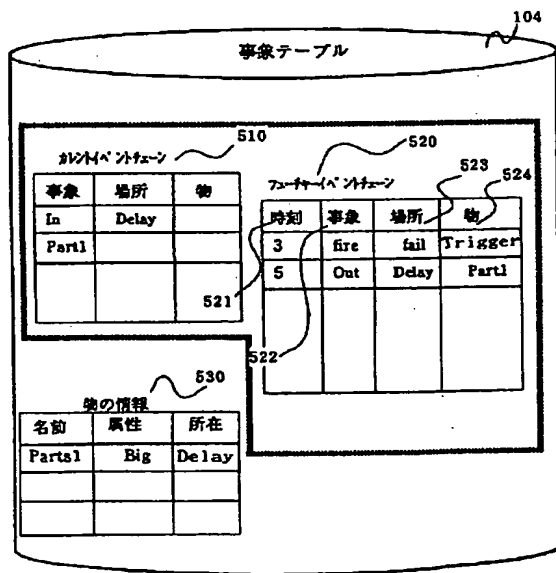


【図3】



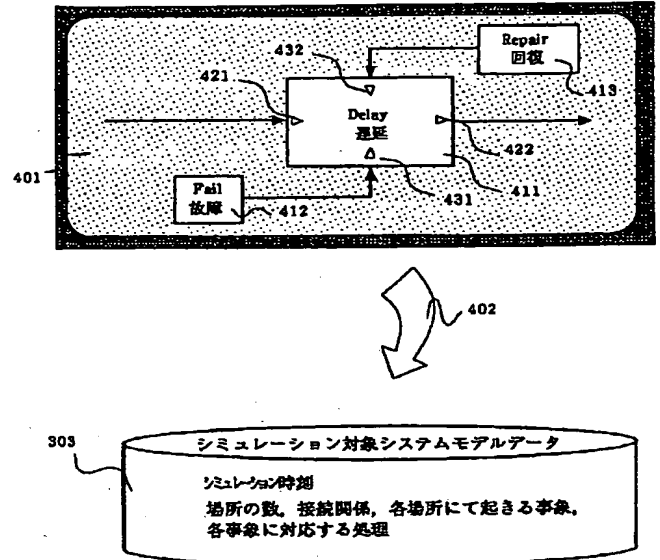
【図5】

図5



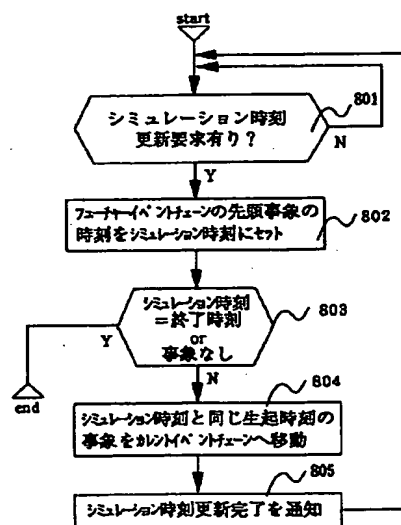
【図4】

図4



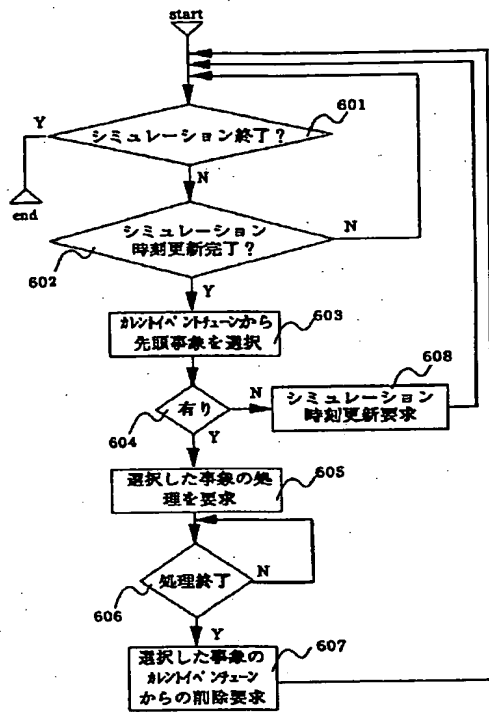
【図8】

図8



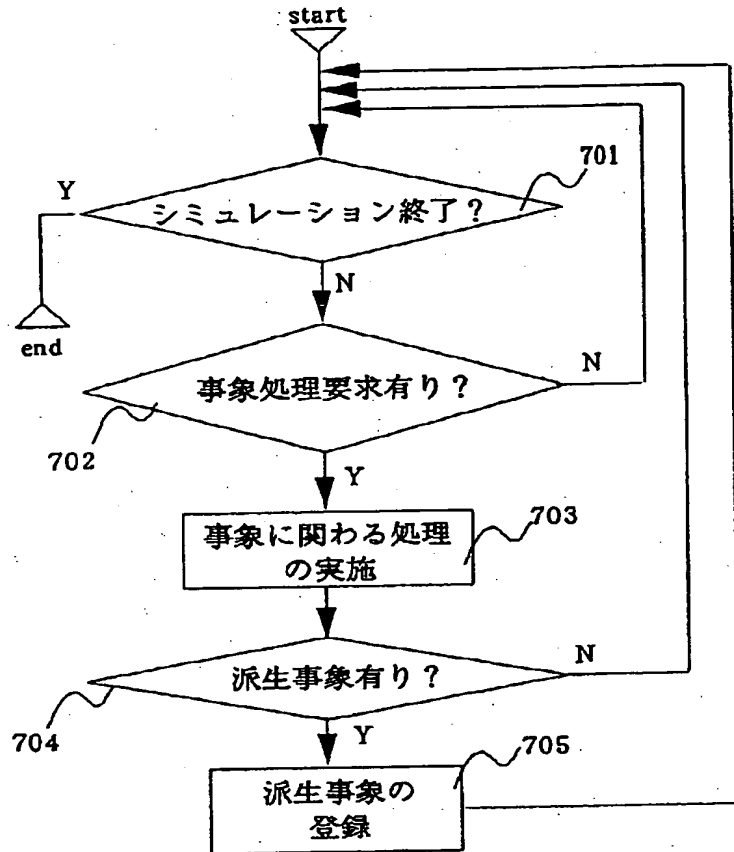
【図 6】

図 6



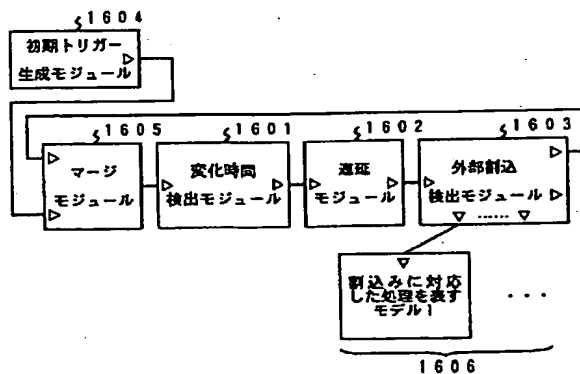
【図 7】

図 7



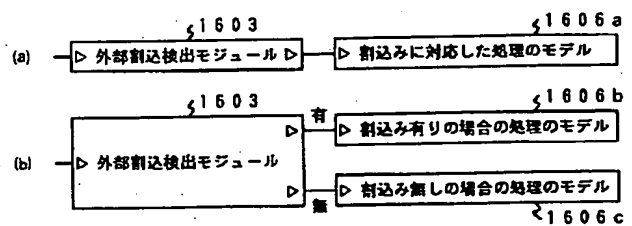
【図 16】

図 16



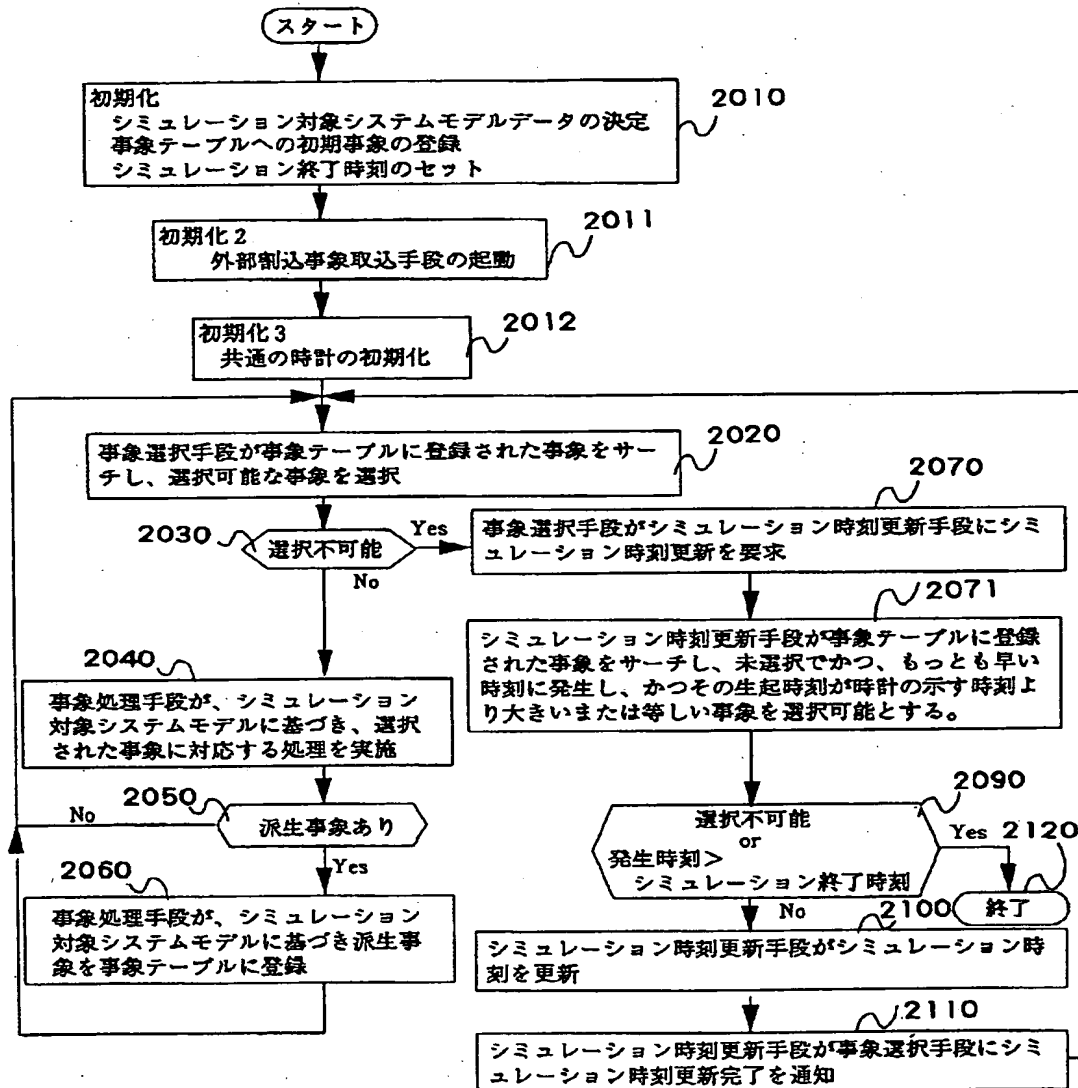
【図 17】

図 17



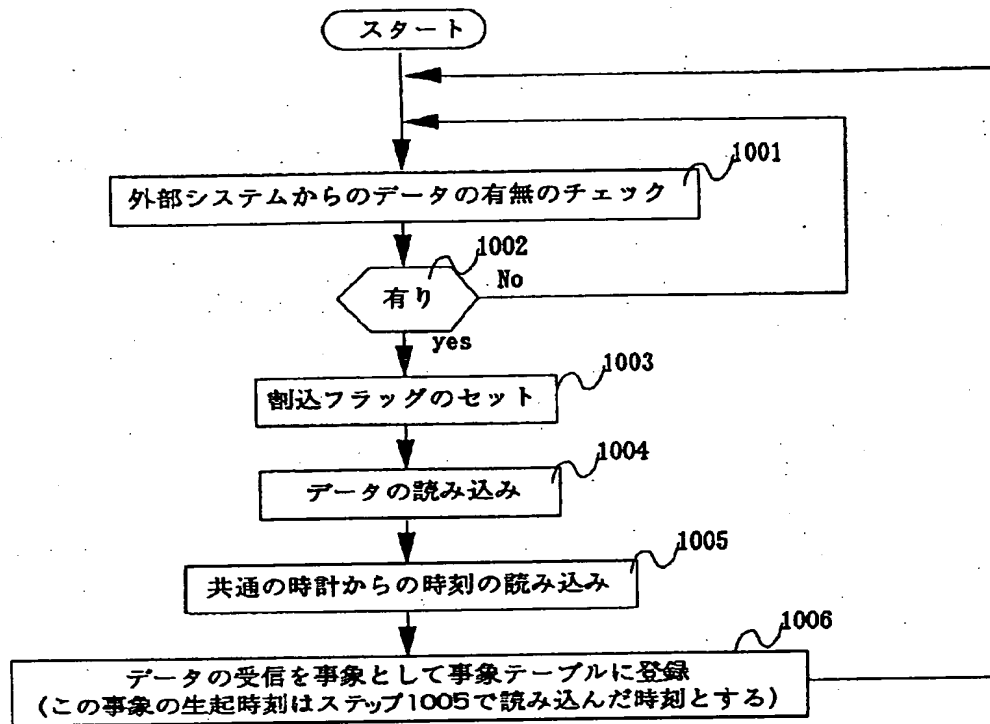
【図9】

図9



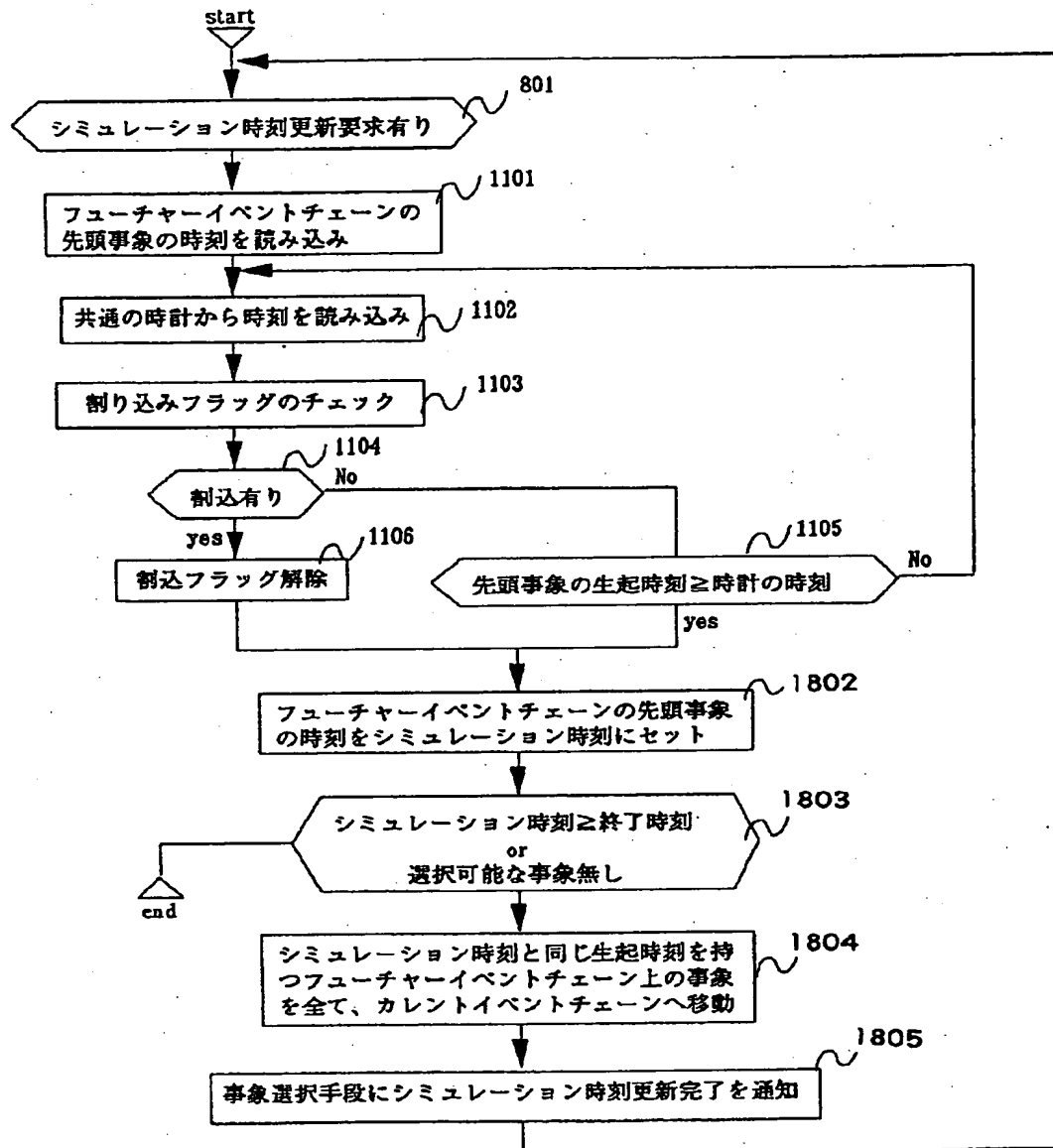
【図 10】

図 10



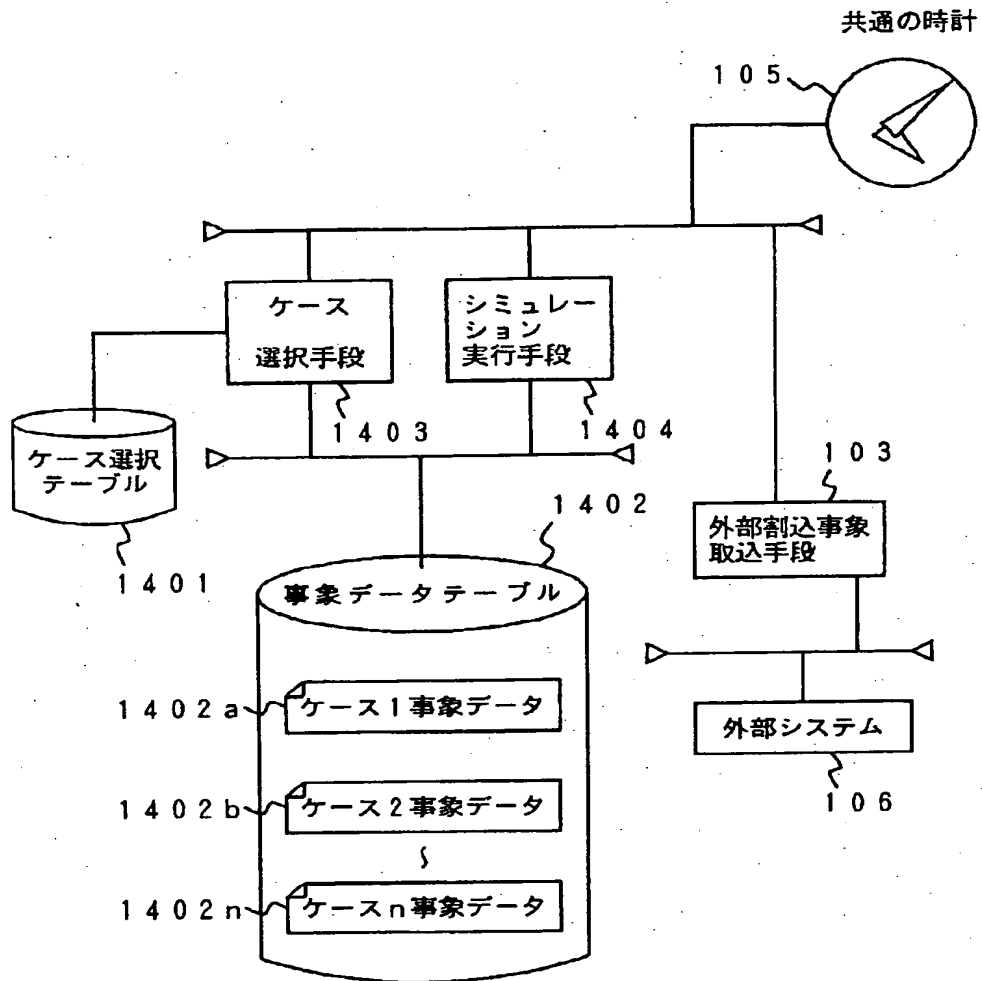
【図11】

図 1 1



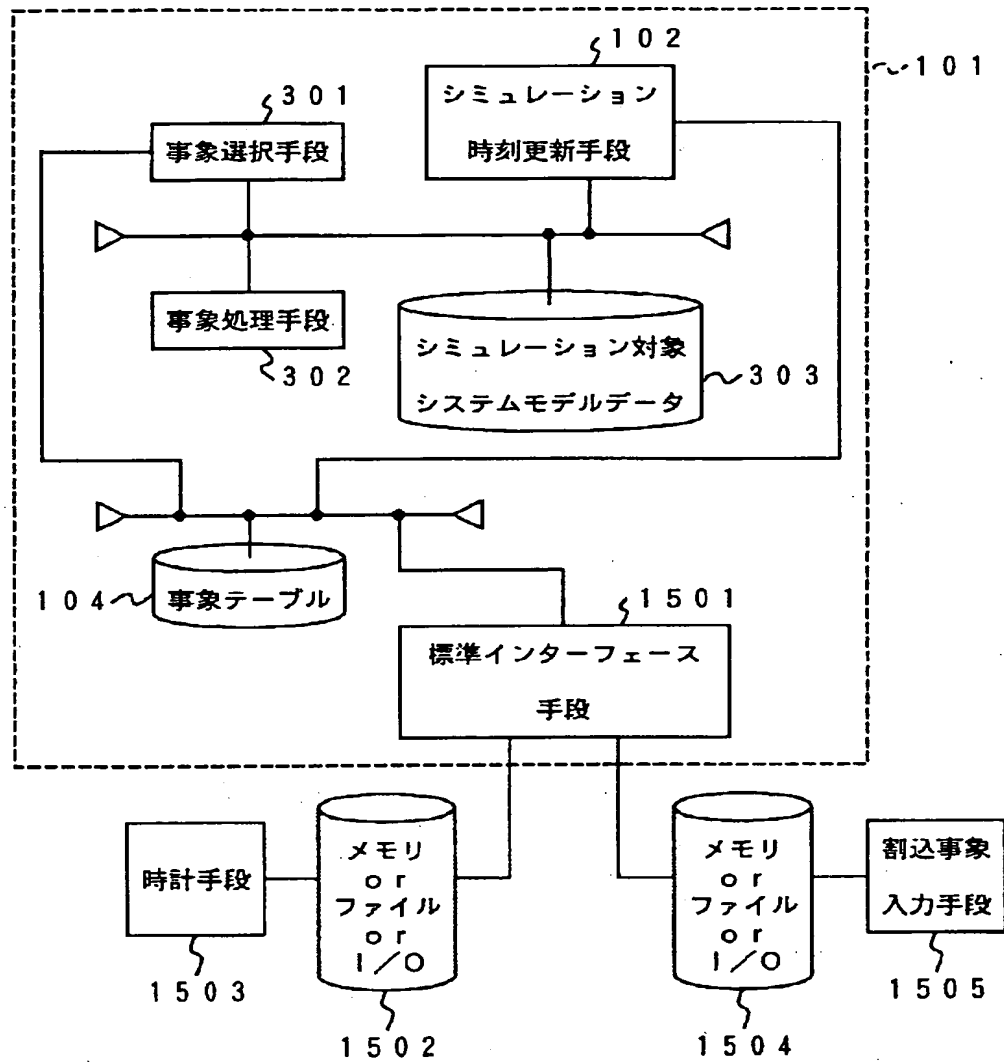
【図14】

図14



【図15】

図15



フロントページの続き

(72)発明者 高橋 秀一
 茨城県日立市大みか町五丁目2番1号 株
 式会社日立製作所大みか工場内